

Data Driven Study on Characteristic of Anomalies in Atmospheric Radon Concentration Related to Earthquakes

著者	Iwata Daichi
number	88
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第3277号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00128530

論文内容要旨

(NO. 1)

氏名	岩田大地	提出年	令和2年
学位論文の 題目	Data Driven Study on Characteristic of Anomalies in Atmospheric Radon Concentration Related to Earthquakes (地震に関連した大気中ラドン濃度異常の特性に関するデータ駆動型研究)		

論文目次

Abstract.....i

Acknowledgments.....ii

Notation.....iv

List of Figures.....v

List of Tables.....vi

Chapter 1. General Introduction.....1

Chapter 2. Non-parametric detection of atmospheric radon concentration anomalies related to earthquakes.....5

2.1. Introduction.....5

2.2. Method and Materials.....6

2.2.1. Observations of atmospheric radon concentration.....6

2.2.2. Conventional method for analyzing radon anomalies10

2.2.3. Singular spectrum transformation.....12

2.2.4. Comparing similarity of time series of anomalousness.....15

2.2.5. Cumulative seismic moment.....19

2.3. Results and Discussion.....19

2.4.	Conclusions.....	29
Chapter 3. Statistical Estimation of relationship between atmospheric radon anomalies and seismic activities.....		
3.1.	Introduction.....	30
3.2.	Method and Materials.....	32
3.2.1.	Atmospheric radon concentration data and observation sites.....	32
3.2.2.	ARMA-GARCH model.....	32
3.2.3.	Estimating conditions of earthquakes.....	34
3.3.	Results and Discussion.....	36
3.4.	Conclusions.....	41
Chapter 4. Bayesian estimation of atmospheric radon concentration using state space model.....		
4.1.	Introduction.....	42
4.2.	Method and Materials	43
4.2.1.	Atmospheric radon concentration data and observation sites.....	43
4.2.2.	State space model.....	43
4.3.	Results and Discussion.....	44
4.4.	Conclusion.....	48
Chapter 5. General Conclusions.....		
References.....		51

Abstract

Anomalous phenomena related to earthquakes have been studied to aid in the forecasting of large earthquakes. Radon (^{222}Rn) concentration changes are known to be one of those phenomena. Although many studies have quantified radon anomalies to identify physical aspects of radon emanations related to earthquakes, the characteristics of anomalies in atmospheric radon concentration is veiled in mystery since almost previous results have not controlled the bias related to the method and/or data used in the analysis. Through this thesis, the bias is controlled with data driven approach, method analyzing based on the observed data, indicated in Chapter 2, Chapter 3 and Chapter 4. The results of this thesis show the availability of data driven approach to data of atmospheric radon concentration.

In Chapter 2, I apply singular spectrum transformation, non-parametric analysis to estimate change points in time series, to atmospheric radon concentration. From 10 years of data from continuous observation of the atmospheric radon concentration over northeastern Japan and Hokkaido, I identify anomalies in the atmospheric radon concentration related to the moment releases of large earthquakes. Compared with a conventional model-based method, the singular spectrum transformation method identifies more anomalies. Moreover, I also find that change points in the atmospheric radon concentration prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (M_w 9.0; 11 Mar. 2011, N38.1°, E142.9°) coincided with periods of other anomalous precursory phenomena. The results indicate that singular spectrum transformation can be used to detect anomalies in atmospheric radon concentration related to the occurrences of large earthquakes. The results of this chapter have been published as *Iwata et al.* (2018).

In Chapter 3, I show the relationship between earthquake magnitude and epicenter distance that cause anomalous variation in atmospheric radon concentration that was determined nonparametrically. The result indicates that the closer epicenter distance to the radon observation point, the smaller earthquake can cause the radon

variation. The method used in this study can be widely applied in the study of earthquake-related anomalous phenomena and has the potential to evaluate various phenomena in a unified manner. The characteristics of seismic activity that cause anomalies in radon concentration variation estimated in this study are expected to contribute to the assessment of seismic risk.

In Chapter 4, variation of atmospheric radon concentration is estimated using the state space model and Bayesian inference. The results estimated using state space model indicate more stable value than that using the conventional method. In addition, the result also reflects the difference in contribution of the seasonal component in different observation sites.

別 紙

論文審査の結果の要旨

地震は地殻中に蓄積されたひずみエネルギーが破壊とともに解放される現象であり、それに先立って地殻中で起こる環境変化によって地殻中に存在するラドンなどの化学物質の濃度が変化することが観測・報告されてきた。内陸型・海溝型地震に先行するラドン濃度異常がこれまでに多く報告されてきたが、地震に先行するメカニズムや定量的な性質は明らかになっていなかった。本研究では、機械学習や統計的方法を用いて、地震に関連した大気中ラドン濃度変動の特徴を観測データに基づいて推定することを目的とする。

第 2 章では、医科・薬科大学で観測されている大気中ラドン濃度のデータに特異スペクトル変換法を適用することで、時系列データの異常部分を客観的に抽出した。さらに、地震活動を表す積算地震モーメントの時系列データと比較することで、大気中ラドン濃度の異常変動が地震活動とどの程度関連するかを定量的に明らかにした。また、地下水位の変化や地殻変動が観測された時期と同期し大気中ラドン濃度の異常変動が認められたことも指摘した。

第 3 章では、大気中ラドン濃度の変動に寄与する地震がどのくらいの震央距離と規模の組み合わせで表せるのかを統計的に推定した。推定された震央距離と地震の規模の関係は、先行研究において地下水位の変動をもたらす地震の距離と規模に関する経験則を包含する形で調和的であり、共通する物理的メカニズムの存在を明らかにした。

第 4 章では、大気中ラドン濃度変動の特徴を表す状態空間モデルによる時系列モデルを用いて推定した。状態空間モデルによる時系列解析は、回帰分析に基づいた従来の方法よりも柔軟なモデリングが可能であり、モデルをあてはめるデータ期間や観測場所によらずに大気中ラドン濃度変動を推定できることを明らかにし、異なる観測点での大気中ラドン濃度のデータを比較することが可能となった。

本学位論文の結果は、データ駆動型手法に基づいて大気中ラドン濃度異常変動と地震活動との関係や性質を定量的に明らかにし、地震に先行する異常変動の発生メカニズムを明らかにしたという点で理学研究としてだけでなく災害軽減のための学術成果としても認められる成果である。

以上の点を総括して、申請者は自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、岩田大地が提出した博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格であることを認める。